

ВПЛИВ ЗАСОЛЕННЯ ҐРУНТІВ НА ОПІР ДЕФОРМАЦІЯМ СТИСКУ

Л.Я. Побережна¹, Л.Я. Побережний²

¹Івано-Франківський національний медичний університет, м. Івано-Франківськ,
вул. Гальцька, 2. dlya2906@gmail.com

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-
Франківськ, вул. Карпатська, 15. lubomyrpoberezhny@gmail.com

Summary. In today's society development plays a significant problem exploration and development of large land areas. The competition, high density and insufficient land resources led to the involvement of the construction of structurally unstable soils. The nature and causes prosidan soil in areas of mining potash Carpathians. The calculations obtained depending on the concentration of salts in the liquid and the specific amount of salt thickness of soil over time for cases disperse and film salinity. Powered kinetic curves for particulate suffosion subsidence and salinization of film types, use of which will help predict and monitor subsidence saline soils technologically loaded areas. In the future development of mathematical models in the direction of their adaptation to conditions to settlement potash deposits Carpathians.

Екологічна безпека регіонів є однією з найважливіших проблем на сучасному етапі розвитку суспільства. Погіршення екологічного стану оточуючого середовища та погіршення здоров'я населення, що проживає на даних територіях визначає необхідність вивчення екологічних небезпек та ризиків.

В умовах сучасного розвитку суспільства значне місце займає проблема освоєння та забудови значних земельних територій. Велика конкуренція, висока щільність забудови та недостатній обсяг земельного фонду призвели до залучення під будівництво структурно-нестійких ґрунтів. У Калуському промисловому районі Івано-Франківської області великі площі займають засолені ґрунти, які належать до району розробки Калуш-Голинського родовища калійних солей.

Калієносні родовища Прикарпаття представлені Калуш-Голинським родовищем, розміщеним у Калуському районі Івано-Франківської області та Стебницьким родовищем, яке знаходиться неподалік м. Стебник у Львівській області.

Калуш-Голинське родовище калійних солей, а зокрема Домбровський кар'єр, шахтні поля підземного видобутку калійних солей та солевідвали разом з хвостосховищами хімічної фабрики є основними джерелами забруднення.

Неефективна консервація рудників призвела до утворення провалів ґрунту та руйнування житлових будинків та промислових споруд. Перші провали спостерігалися у м. Калуш у 80-х роках ХХ ст.. Тоді під землю провалилися декілька жилих будинків. Протягом усього часу спостережень утворюються нові провали, які несуть велику небезпеку для населення. Схожою є ситуація у м. Стебник, де перші провали утворилися у 1983 році та призвели до екологічної катастрофи.

Розробка родовищ калійних солей спричинила осідання поверхні, утворення підземних і поверхневих карстових форм, кількість яких з часом зростає через складні гідрогеологічні умови рудників.

На території Калуш-Голинського родовища калійних солей знаходяться Домбровський кар'єр, хвостосховища, солевідвали, шахтні поля, рудники «Калуш» та «Ново-Голин».

На даному етапі поверхня рудних полів ліквідованої шахти «Калуш» знаходиться у стані перетворення внаслідок процесу зрушення земної поверхні ускладненого карстово-провальними проявами. На даний час відселено 40 будинків.

Над виробками і в зоні їх впливу знаходиться село Хотінь, яке забудоване одно - і двоповерховими житловими будинками та іншими спорудами. Оскільки в центрі мутьди проходить заболочування та підтоплення земної поверхні, ВАТ «Оріана»

проведено відселення мешканців 26 будинків, всього в зону впливу потрапляє 109 будинків. Процес зсуву над полем знаходиться в стадії затухання. Однак існує небезпека прориву вод р. Лімниця у відпрацьований простір ліквідацію якого не було проведено і це призвело б до катастрофічних наслідків аналогічно до Північного каїнітового поля. У мульду просідання поля потрапляють 268 житлових будинків та школа, з них – 104 будинки будуть підтоплені. [1]

Проблема забезпечення від руйнування споруд цивільного та промислового будівництва є однією з найважливіших на даний час. При проектуванні споруд, які знаходяться у зоні шкідливого впливу гірських виробок необхідно враховувати діючі Державні будівельні норми України та міжнародні стандарти, котрі застосовуються при будівництві споруд. [2].

При виборі майданчиків будівництва необхідно враховувати, що на ньому:

- а) немає покладів калійних солей;
- б) залягають непромислові запаси;
- в) поклади вироблені, процес деформації земної поверхні завершився і після стабілізації деформації виключається можливість появи воронки і провалів;
- г) виробка шахт очікується після завершення амортизаційного періоду споруди. [3].

Вивчення закордонного досвіду дозволяє здійснювати прогноз стійкості фундаментів будівель, споруджених на засолених територіях.

Просідання глинистих ґрунтів характеризується рядом показників: межа просідання, щільність скелету ґрунту на межі просідання, величина відносного лінійного та об'ємного просідання.

Просідання ґрунту часто визначають розрахунковим шляхом, використовуючи для цього або метод М.Я. Денисова, згідно якого об'ємне просідання ґрунту V обчислюється за формулою

$$V = \left(1 - \frac{\rho_d^b}{\rho_d^c} \right) \cdot 100,$$

де ρ_d^b, ρ_d^c - відповідно вологість скелета вологого і сухого ґрунту, або метод Е.М. Сергєєва, згідно якого об'ємне просідання повністю водонасиченого ґрунту описується рівнянням

$$V = V_c \cdot (1 + \beta_v \cdot W),$$

де V - об'єм ґрунту при вологості W ; V_c - об'єм сухого ґрунту; β_v - коефіцієнт об'ємного просідання, який дорівнює відносному приросту об'єму при зміні вологості на одиницю:

$$\beta_v = \frac{V_1 - V_2}{V_2 W_1 - V_1 W_2},$$

де V_1 і V_2 - значення об'єму ґрунту при вологості відповідно W_1 і W_2 . Межу просідання ґрунту можна обчислити зі співвідношення:

$$W_s = \frac{e_s \rho}{\rho_s},$$

де e_s - коефіцієнт пористості ґрунту на межі просідання, ρ - густина вологого ґрунту, ρ_s - густина твердої частини ґрунту.

На даний час при вивченні механіки ґрунтів відсутня строга математична постановка задачі про напружено-деформований стан масиву водонасиченого засоленого ґрунту та зміни цього стану з урахуванням процесів масообміну та масопереносу між компонентами ґрунту. Це значно сповільнює подальший розвиток методів розрахунку основ, котрі складаються з засолених ґрунтів

Наявність в ґрунтах різних за кількісним складом солей впливає на деформаційні показники ґрунтів. При зволоженні засолених ґрунтів відбувається розчинення і винос солей, які в них містяться і відповідно до цього збільшується пористість ґрунту. Збільшення ж пористості засолених ґрунтів при зволоженні в свою чергу призводить до суфозійного просідання.

Для просідання однорідного шару ґрунту у напрямку осі X маємо формулу (1):

$$S(t) = \int_{h_1}^{h_2} \alpha_0 (\sigma - \overline{\sigma}_0)^{\nu_0} \frac{\xi_0 - \xi(t)}{\xi_0} dx \quad (1)$$

де h_1, h_2 - відповідно верхня і нижня межі області суфозійної осадки;

$\sigma = \gamma_0 x$ - зміна ущільнюючого навантаження по глибині в умовах природного напруженого стану, МПа;

γ_0 - питома вага ґрунту в водонасиченому стані, Н/см³;

α_0, ν_0 - параметри нелінійної деформації, які є сталими для однорідної товщі ґрунту;

$\xi(t)$ - функція розподілу питомого обсягу солей, в частках одиниць;

$\overline{\sigma}_0$ - мінімальний тиск, при якому виникає суфозійне осідання ґрунту, МПа. [3]

У загальному випадку закон зміни питомого обсягу розчинних солей в ґрунті з глибиною і з часом описується системою рівнянь (2):

$$\begin{cases} Dm_0 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - \delta \frac{\partial \xi}{\partial t} = m_0 \frac{\partial C}{\partial t}; \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} = -\frac{\gamma}{\delta} (C_m - C) \xi^k \end{cases} \quad (2)$$

де D - коефіцієнт конвективної дифузії, см²/с;

C - концентрація солей у рідині, г/см³;

ξ - питомий об'єм солей в ґрунті, в частках одиниць.

C_m - концентрація насичення води солями даного складу, г/см³;

γ - узагальнений коефіцієнт солевіддачі, с⁻¹;

m_0 - пористість ґрунту;

v - швидкість фільтрації ґрунтової води, см/с;

δ - щільність солей, г/см³;

k - коефіцієнт засолення.

У системі (2) k приймає значення 0;0,5;1. При $k=0$ отримуємо випадок плівкового засолення ґрунту; при $k=0,5$ або $k=1$ - випадок об'ємного (дисперсного) засолення ґрунту. [4]

Розглянемо математичну модель задачі з розрахунку концентрації солей в рідині, яка фільтрується та розрахунку зміни питомого обсягу солей, що містяться в засоленому ґрунті і суфозійне просідання, яка при цьому виникає.

Для розв'язання цієї використовується система (2) з наступними початковими і граничними умовами (3):

$$\begin{cases} C(x,0) = C_H, \\ \xi(x,0) = \xi_0, \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{\partial C(0,t)}{\partial x} = \frac{v}{m_0 D} (C(0,t) - C_0) \\ \frac{\partial C(l,t)}{\partial x} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

де C_H - рівномірний розподіл концентрації солей у рідині в початковий момент часу по товщі ґрунту, г/см³;

C_0 - концентрація солей у вхідному перерізі ґрунту, г/см³;

ξ_0 - рівномірний розподіл питомого об'єму солей в ґрунті в початковий момент часу, в частках одиниць;

l - товщина ґрунту, см.

Розв'яжемо систему (2) з початковими і граничними умовами (3) кінцево-різницевою методом.

Розглянемо систему (2) при $k = 0$ і $\nu = \text{const}$. Це випадок плівкового засолення ґрунту. Дане завдання зводиться до розв'язання системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial \bar{t}} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C}{\partial \bar{x}^2} - \frac{\partial C}{\partial \bar{x}} + N(C_m - C) \\ \frac{\partial \xi}{\partial \bar{t}} = -\frac{1}{\delta} N(C_m - C) \end{cases} \quad (4)$$

з початковими і граничними умовами (5),

$$\begin{cases} C(\bar{x}, 0) = C_0 \\ \xi(\bar{x}, 0) = \xi_0 \end{cases}, \quad \begin{cases} \frac{\partial C(0, \bar{t})}{\partial \bar{x}} = Pe(C(0, \bar{t}) - C_0) \\ \frac{\partial C(l, \bar{t})}{\partial \bar{x}} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

де в рівняннях (4) $\bar{x} = \frac{x}{l}$ - безрозмірна координата, $\bar{t} = \frac{\nu \cdot t}{m_0 l}$ - безрозмірний час,

$Pe = \frac{\nu \cdot l}{m_0 D}$ - критерій Пекле; $N = \frac{m_0 \gamma \cdot l}{\nu}$ - критерій розчинення (1).

Таким чином, задача (4)-(5) буде залежати тільки від двох безрозмірних критеріїв Pe і N . При розрахунках були використані наступні дані: $C_m = 0,025 \text{ г/см}^3$, $C_0 = 0,025 \text{ г/см}^3$, $C_n = 0,075 \text{ г/см}^3$. За результатами розрахунків отримані залежності концентрації солей в рідині (рис. 1, а) і питомого вмісту солей по товщині ґрунту з плином часу (рис. 1, б).

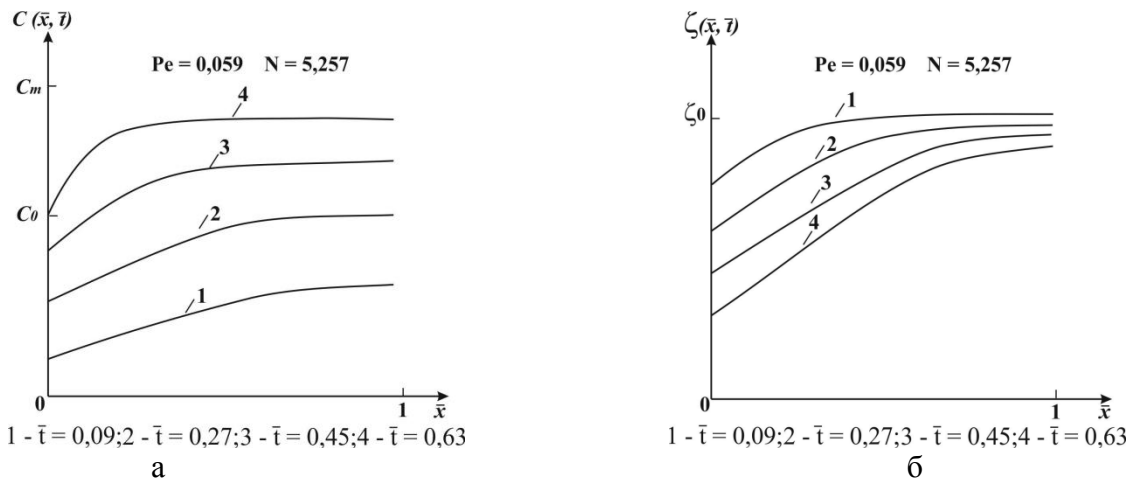


Рис. 1. Залежність концентрації солей в рідині (а), та їх питомого об'єму у ґрунті (б)

Використовуючи отримані розподіли функції $\xi(x, t)$ можна визначити суфозійне просідання ґрунту в часі для природного напруженого стану при плівковому і дисперсному засоленні за формулою (1). Розрахунки проводилися для двох характерних випадків загіпсованою ґрунту $A=10\%$ (слабозагіпсованого) і $A=40\%$ (сильнозагіпсованого).

Для $A = 10\%$ маємо такі дані: $\bar{\sigma}_0 = 0,04 \text{ МПа}$, $\gamma_0 = 0,015 \text{ Н/см}^3$, $\gamma = 0,001 \text{ с}^{-1}$, $\nu = 60 \text{ см/добу}$, $D = 0,208 \text{ см}^2/\text{с}$, $\delta = 2,65 \text{ г/см}^3$, $C_m = 0,025 \text{ г/см}^3$, $C_0 = 0 \text{ г/см}^3$,

$m_0 = 0,6$, $\xi_0 = 0,6$, $h = 10 \text{ см}$, $\nu_0 = 1$, $\alpha_0 = 0,0745 \text{ МПа}^{-1}$. Для сільнозагіпсованого ґрунту нелінійний коефіцієнт стисливості $\alpha_0 = 0,376 \text{ МПа}^{-1}$.

За результатами розрахунків були побудовані графіки кінетики суфозійного просідання для плівкового і дисперсного засолення для слабо- (рис. 2,а) та сільнозагіпсованого ґрунту (рис. 2,б).

Як видно з наведених залежностей слабозагіпсовані ґрунти дають менші деформації в порівнянні з сільнозагіпсованими. Так само для сільнозагіпсованих ґрунтів характерною є порівняно швидка стабілізація деформації, за якої процес суфозійного просідання припиняється.

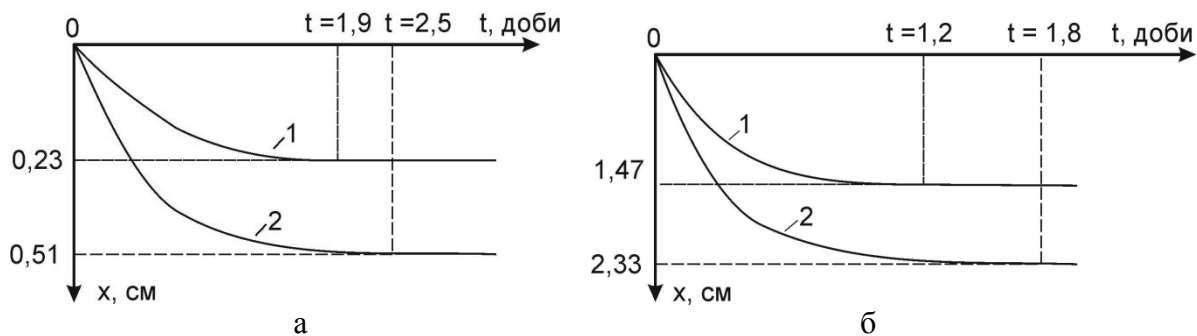


Рис. 2. Криві суфозійного просідання для слабо- (а) і сільнозагіпсованого (б) ґрунту: 1 – плівкове засолення, 2 – дисперсійне засолення

Висновки

Проаналізовано характер та причини просідань ґрунту у районах розробки родовищ калійних солей Прикарпаття.

За результатами розрахунків отримані залежності концентрації солей в рідині і питомої обсягу солей по товщині ґрунту з плином часу для випадків дисперсного та плівкового засолення.

Побудовано кінетичні криві суфозійного просідання для дисперсного та плівкового типів засолення, використання яких дасть змогу прогнозувати та контролювати просідання засолених ґрунтів техногенно навантажених територій.

В подальшому планується розвиток математичних моделей у напрямку їх адаптації до розрахунків до умов експлуатації калійних родовищ Прикарпаття.

Список використаної літератури

1. Головчак В.Ф. Стан гірничопромислових геокмплексів Калуш-Голинського родовища калійних солей та заходи для їх екологічної оптимізації/ Головчак В.Ф. // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2010.-№2. – с.4-13.
2. Зеркалов Д. В. та ін. Наукові основи техногенно-екологічної безпеки. Електронний ресурс : Монографія / Д. В. Зеркалов, М. Д. Кацман, М. І. Адаменко, О. Г. Радкевич, Т. В. Пічкур. За редакцією Д. В. Зеркалова – Електрон. дані. – К. : Основа, 2014.
3. Мустафаєв А.А. Деформации засоленных грунтов в основаниях сооружений/ А.А. Мустафаев. – М.:Стройиздат, 1985. – 280 с.
4. ДБН В.1.1-5-2000 захист від небезпечних геологічних процесів. будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах.